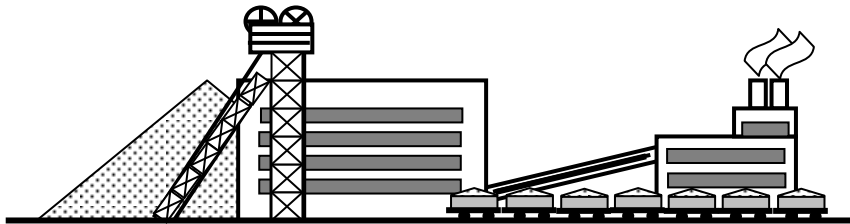


**В.О. Смирнов, В.С. Білецький**

# **ПЕРЕРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН**

**Видання друге**

**Підручник**



**«Новий Світ-2000»**

**Львів**

**2020**

УДК 622.7

С 50

Рекомендовано до видання рішенням Вченої Ради навчально-наукового інституту хімічних технологій та інженерії НТУ ХП  
Протокол № 1 від 29 вересня 2019 року.

Рецензенти:

Младецький І.К. – докт. техн. наук, професор, Національний гірничий університет (м. Дніпропетровськ);

Бережний М.М. - докт. техн. наук, професор, ДВНЗ «Криворізький національний університет» (м. Кривий Ріг);

Золотко О.А. – канд. техн. наук, УкрНДІвуглезбагачення (м. Луганськ).

С 50

**Переробка корисних копалин : Підручник / Смирнов В.О., Білецький В.С. – Львів: Видавництво «Новий Світ-2000», 2020. – 607 с.**

**ISBN 978-617-7519-41-5**

Викладені основні відомості щодо технології і процесів переробки й збагачення корисних копалин. Розглянуті принципові конструкції технологічного обладнання і його принцип дії, технологічні схеми переробки і комплексного використання різноманітних корисних копалин.

Книга призначена для науковців у галузі збагачення корисних копалин, інженерно-технічного персоналу збагачувальних фабрик та студентів вищих навчальних закладів.

Може бути використана як підручник з дисципліни «Збагачення корисних копалин», «Переробка корисних копалин», і як посібник з дисципліни «Основи гірничого виробництва».

Табл. 18, іл. 303, бібл. 23.

**ISBN 978-617-7519-41-5**

© В.О. Смирнов, В.С. Білецький, 2020

© «Новий Світ-2000», ФОП Піча С.В., 2020

## ЗМІСТ

Передмова.....	7
1. Корисні копалини і продукти збагачення.....	9
1.1. Корисні копалини .....	9
1.2. Продукти збагачення корисних копалин .....	13
1.3. Технологічні показники збагачення .....	16
1.4. Класифікація процесів збагачення.....	18
2. Збагачувальні фабрики .... ..	22
2.1. Класифікація і склад збагачувальних фабрик .....	22
2.2. Продуктивність і режим роботи фабрики .....	25
3. Прийом і складування корисної копалини .....	27
3.1. Приймальні пристрої. ....	27
3.2. Бункери і склади сировини .....	32
3.3. Акумулявання і усереднення корисних копалин .....	38
4. Підготовка корисних копалин до збагачення.....	44
4.1. Грохочення .....	44
4.1.1. Загальні відомості про процес .....	44
4.1.2. Гранулометричний склад корисних копалин .....	47
4.1.3. Грохоти.....	49
4.1.4. Технологічні показники процесу грохочення .....	61
4.2. Дроблення і подрібнення .....	64
4.2.1. Характеристика процесів.....	64
4.2.2. Закони дроблення. ....	67
4.2.3. Міцнісні характеристики гірських порід і способи їх руйнування .	69
4.2.4. Дробарки .....	74
4.2.5. Млини .....	107
4.3. Гідравлічна класифікація .....	121
4.3.1. Закономірності руху тіл у середовищах .....	121
4.3.2. Закономірності процесу гідравлічної класифікації .....	126
4.3.3. Класифікатори .....	131
4.4. Промивка .....	142
4.4.1. Характеристика процесу.....	142
4.4.2. Властивості глин ... ..	143
4.4.3. Промивність корисних копалин .....	145
4.4.4. Промивні машини і пристрої .....	147
4.5. Схеми підготовчих операцій .....	160
4.5.1. Схеми дроблення.. ..	160
4.5.2. Схеми подрібнення .....	164
4.5.3. Схеми промивки... ..	171
5. Гравітаційний метод збагачення.....	177

5.1. Збагачуваність корисної копалини.....	177
5.2. Збагачення у важких середовищах .....	181
5.2.1. Характеристика процесу.....	181
5.2.2. Апарати для збагачення у важких суспензіях.....	184
5.2.3. Технологія збагачення у важких суспензіях .....	192
5.3. Відсадка .....	199
5.3.1. Теоретичні основи процесу відсадки .....	199
5.3.2. Відсаджувальні машини .....	204
5.3.3. Технологія відсадки .....	213
5.4. Збагачення у струмені води на похилій поверхні .....	216
5.4.1. Теоретичні основи процесів розділення .....	216
5.4.2. Збагачення на шлюзах .....	218
5.4.3. Збагачення на концентраційних столах .....	221
5.4.4. Гвинтова сепарація .....	227
5.4.5. Протитечійна водна сепарація .....	230
5.5. Пневмозбагачення .....	242
5.5.1. Процеси збагачення у повітряному середовищі .....	242
5.5.2. Машини пневмозбагачення.....	243
5.5.3. Технологія пневмозбагачення.....	247
6. Флотаційний метод збагачення.....	251
6.1. Сутність процесу флотації і галузі використання .....	251
6.2. Фізико-хімічні основи флотації .....	252
6.3. Флотаційні реагенти .. ..	255
6.4. Підготовка пульпи до флотації .....	260
6.5. Флотаційне обладнання.....	263
6.5.1. Флотаційні машини .....	263
6.5.2. Допоміжне обладнання.....	282
6.6. Технологія флотаційного процесу .....	288
6.7. Практика флотаційного збагачення .....	293
6.7.1. Класифікація мінералів за флотованістю.....	293
6.7.2. Флотація мінералів з високою природною флотованістю .....	294
6.7.3. Флотація кам'яного вугілля.....	295
6.7.4. Флотація мідних сульфідних руд.....	298
7. Магнітне збагачення .....	304
7.1. Теоретичні основи магнітного збагачення.....	304
7.2. Динаміка процесу магнітного збагачення.....	311
7.3. Обладнання для магнітного збагачення .....	319
7.3.1. Магнітні сепаратори.....	319
7.3.2. Допоміжні апарати при магнітному збагаченні .....	330
7.4. Підготовка руд до магнітної сепарації.....	331
7.5. Фактори, що впливають на процес магнітної сепарації .....	333
7.6. Практика магнітної сепарації .....	336
7.6.1. Збагачення сильномагнітних руд.....	336
7.6.2. Збагачення слабомагнітних руд.....	341
8. Електричне збагачення .....	347

8.1. Теоретичні основи електричного збагачення.....	347
8.2. Електричні сепаратори .....	356
8.2.1. Класифікація електричних сепараторів .....	356
8.2.2. Електричні сепаратори .....	359
8.3. Підготовка матеріалу до електричної сепарації .....	366
8.4. Фактори, що впливають на процес електричної сепарації.....	368
8.5. Практика електричної сепарації.....	371
9. Спеціальні методи збагачення .....	377
9.1. Сортування.....	377
9.1.1. Фізичні основи процесу сортування .....	378
9.1.2. Технологія сортування.....	381
9.1.3. Ручне сортування .....	383
9.1.4. Радіометричні методи збагачення .....	385
9.1.5. Практика радіометричного збагачення.....	404
9.2. Збагачення за пружністю .....	407
9.3. Збагачення за тертям і формою .....	409
9.4. Збагачення за тертям і пружністю.....	413
9.5. Збагачення за вибірковою руйнуванням.....	414
9.5.1. Вибіркове дроблення .....	414
9.5.2. Вибіркове подрібнення.....	421
9.5.3. Декриптація .....	423
9.5.4. Термохімічне руйнування .....	424
9.5.5. Руйнування стисненим середовищем .....	425
9.5.6. Руйнування за допомогою електрогідравлічного удару .....	427
9.5.7. Зміна розмірів частинок термообробкою .....	429
9.6. Збагачення на жирових поверхнях .....	430
9.7. Гідрометалургійні процеси збагачення .....	432
9.8. Спеціальні методи збагачення і зневоднення вугільних шламів.....	440
9.8.1. Технологія селективної масляної агрегації тонко дисперсного вугілля.....	440
9.8.2. Селективна флокуляція вугільних шламів синтетичними латексами .....	446
9.8.3. Селективна електролітна коагуляція вугільних шламів .....	448
9.8.4. Селективна флокуляція вугільних шламів водорозчинними полімерами .....	450
9.9. Геотехнологічні методи видобутку і переробки корисних копалин .....	452
10. Заключні (допоміжні) процеси .....	462
10.1. Зневоднення.....	462
10.1.1. Загальні відомості про процеси зневоднення.....	462
10.1.2. Дренування .....	463
10.1.3. Центрифугування .....	467
10.1.4. Згущення .....	473
10.1.5. Фільтрування .....	477
10.1.6. Сушка .....	488

10.2. Знепилення і пиловловлення .....	497
10.2.1. Промисловий пил .....	497
10.2.2. Знепилення.....	499
10.2.3. Пиловловлення ...	501
10.3. Грудкування рудних матеріалів .....	516
10.3.1. Брикетування .....	516
10.3.2. Обкочування .....	522
10.3.3. Агломерація рудних матеріалів .....	525
11. Комплексне використання корисних копалин .....	529
11.1. Комплексне освоєння надр .....	529
11.2. Комплексна переробка мінеральної сировини .....	530
11.3. Комбінована переробка мінеральної сировини .....	531
11.4. Руди чорних металів. ....	532
11.5. Руди кольорових металів .....	538
11.6. Неметалічні корисні копалини .....	551
12. Охорона навколишнього середовища. ....	580
12.1. Діяння людини на природу .....	580
12.2. Заходи щодо охорони навколишнього середовища .....	583
12.3. Очищення стічних вод .....	584
12.3.1. Природне очищення стічних вод. ....	586
12.3.2. Хімічні методи очищення стічних вод .....	587
12.3.3. Іонообмінний метод очищення стічних вод. ....	591
12.3.4. Електрохімічний метод очищення стічних вод .....	593
12.3.5. Екстракційне очищення стічних вод. ....	594
12.3.6. Адсорбційне очищення стічних вод. ....	596
12.3.7. Флотаційне очищення стічних вод. ....	598
12.3.8. Біохімічне очищення стічних вод. ....	600
12.4. Рекультивація земель, зайнятих відходами збагачення .....	603
Список рекомендованої літератури. ....	605

## ПЕРЕДМОВА

Добута з надр Землі гірнича маса являє собою суміш грудок окремих мінералів, мінеральних комплексів, зростків мінералів і вмісних порід різних розмірів, форми зерен, які мають різні фізичні, фізико-хімічні і хімічні властивості. Ефективність використання корисної копалини залежить головним чином від вмісту в ній корисного компонента і наявності шкідливих домішок. Корисні копалини, що добуваються, тільки в тих випадках піддаються безпосередній переробці металургійними, хімічними та іншими методами, коли їхня якість відповідає вимогам, висунутим до даної сировини. Але такі корисні копалини в природі зустрічаються рідко. Вміст корисних компонентів у сировині, що добувається, може складати від часток відсотка (мідь, нікель, кобальт і ін.) до декількох відсотків (свинець, цинк і ін.) і декількох десятків відсотків (залізо, марганець, вугілля і ін.). Безпосередня переробка бідних за вмістом корисних копалин технічно і економічно недоцільна. Тому в більшості випадків корисні копалини піддаються спеціальній переробці з метою їхнього збагачення.

Збагачення корисних копалин являє сукупність процесів механічної переробки мінеральної сировини з метою вилучення цінних компонентів і видалення пустої породи і шкідливих домішок, що не являють практичної цінності в даних техніко-економічних умовах.

Попереднє збагачення корисних копалин дозволяє:

- збільшити промислові запаси сировини за рахунок використання родовищ бідних корисних копалин з низьким вмістом цінних компонентів;
- підвищити продуктивність праці на гірничих підприємствах і знизити вартість руди, що добувається, за рахунок механізації гірничих робіт і суцільної виїмки корисної копалини замість вибіркової;
- підвищити техніко-економічні показники металургійних і хімічних підприємств при переробці збагаченої сировини за рахунок зниження витрати палива, електроенергії, флюсів, хімічних реактивів, поліпшення якості готових продуктів і зниження втрат корисних компонентів з відходами;
- здійснити комплексне використання корисних копалин, тому що попереднє збагачення дозволяє вилучити з нього не тільки основні корисні компоненти, але і супутні, що містяться в малих кількостях;

– знизити витрати на транспортування до споживачів більш багатих продуктів, а не всього об'єму видобутої корисної копалини;

– виділити з мінеральної сировини шкідливі домішки, що при подальшій його переробці можуть погіршувати якість кінцевої продукції, забруднювати навколишнє середовище і загрозувати здоров'ю людей.

*Первинна переробка* корисних копалин здійснюється на збагачувальних фабриках, що являють собою потужні висококомеханізовані підприємства зі складними технологічними процесами.

Діапазон використання людством корисних копалин надзвичайно широкий. Тому *подальша їх переробка* здійснюється на коксохімічних, металургійних (чорна і кольорова металургія), хімічних (нафтохімічних, агрохімічних тощо), енергогенераційних підприємствах, у будівельній, фаянсовій, ювелірній, а також харчовій та атомній промисловості. Крім того, корисні копалини застосовуються також при абразивній обробці матеріалів, у оптиці, як чутливі елементи датчиків, як сировина для нанооб'єктів тощо, що вимагає спеціальних методів їх переробки.



# 1. КОРИСНІ КОПАЛИНИ І ПРОДУКТИ ЗБАГАЧЕННЯ

*Мета розділу:* вивчення основних ознак корисної копалини і продуктів її первинної переробки.

## 1.1. Корисні копалини

За своїм значенням корисні копалини поділяються на *загальнодержавного* і *місцевого значення*. В Україні віднесення корисних копалин до загальнодержавного та місцевого значення здійснюється Кабінетом Міністрів України за поданням Державного комітету України з геології і використання надр.

*Корисні копалини* – природні мінеральні утворення земної кори неорганічного і органічного походження, які за сучасного рівня розвитку техніки можуть бути з достатньою ефективністю використані в сфері матеріального виробництва безпосередньо або після попередньої переробки [3, 5].

Корисні копалини складаються з *мінералів* – природних хімічних сполук або самородних елементів, приблизно однорідних за хімічним складом і фізичними властивостями. В широкому розумінні до мінералів зараховують газоподібні речовини (природний газ), рідини (нафту, ртуть, мінеральну воду) та тверді мінерали. Кількісно переважають тверді мінерали. У природі мінерали поширені у вигляді кристалів або зерен, з яких складаються моно- або полімінеральні агрегати. Нараховують від 2000 до 3000 основних різновидів мінералів (Фрей К.), всього – до 14000 (за Лазаренком Є.К та Винар О.М.). У земній корі найпоширеніші мінерали класу силікатів та класу оксидів і гідроксидів.

За фізичним станом корисні копалини поділяються на *тверді* (вугілля, горючі сланці, рудні і нерудні корисні копалини), *рідкі* (нафта, мінеральні води) і *газоподібні* (гази природні горючі і інертні).

За умовами залягання корисні копалини поділяються на *пластові, жильні, штоки, гнізда* та ін.

За промисловим використанням виділяють такі групи корисних копалин: *металічні (рудні), неметалічні (нерудні), горючі (паливні) й гідромінеральні*.

До корисних копалин *органічного* походження належать речовини всіх трьох агрегатних станів: газоподібні (природний газ), рідкі (нафта) і тверді (кам'яне вугілля, сланці, торф). До *неорганічних* належать тверді копалини трьох видів: нерудна мінеральна сировина, що містить неметалічні породи (азбест, графіт, граніт, гіпс, вапняк, кам'яна сіль, кварц, мармур, сірка, слюда тощо); агрономічні руди (апатитові, фосфоритові); руди чорних, кольорових, благородних і рідкісних металів.